(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0135167
(43) 공개일자 2023년09월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/147 (2006.01) *H01J 37/153* (2006.01)
H01J 37/28 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01J 37/1475 (2013.01)
H01J 37/1477 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-7031206(분할)
(22) 출원일자(국제) 2019년09월30일
심사청구일자 2023년09월12일
(62) 원출원 특허 10-2021-7012661
원출원일자(국제) 2019년09월30일
심사청구일자 2021년04월27일
(85) 번역문제출일자 2023년09월12일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2019/076472
(87) 국제공개번호 WO 2020/070074
국제공개일자 2020년04월09일
(30) 우선권주장
10 2018 124 219.0 2018년10월01일 독일(DE)

(71) 출원인
칼 짜이스 멀티셈 게엠베하
독일, 73447 오버코헨, 칼 짜이스 스트라쎄 22
(72) 발명자
자이들러, 디르크
독일, 73447 오버코헨, 드라이쎈탈스트라쎄 72
리데셀, 크리스토프
독일, 73433 아알렌, 엑케너회헤 3
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
(유)한양특허법인

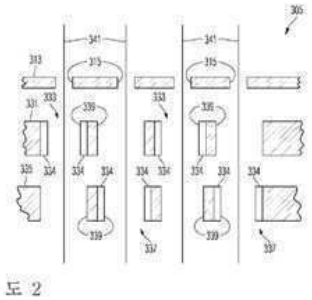
전체 청구항 수 : 총 10 항

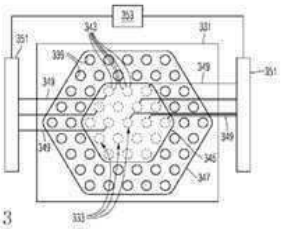
(54) 발명의 명칭 **멀티빔 입자 빔 시스템 및 그 동작 방법**

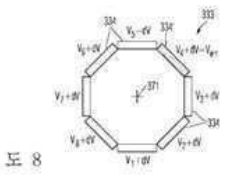
(57) 요 약

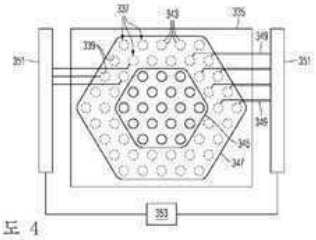
멀티빔 입자 빔 시스템을 동작시키는 방법은, 다수의 입자 빔 각각이 온전한 상태이거나 결함이 있는 다극 요소들을 통과하는 방식으로 다수의 입자 빔을 생성하는 단계; 미리 정해진 평면에서 입자 빔들을 포커싱하는 단계; 다극 요소들의 편향 요소들에 대한 여기를 결정하는 단계; 결정된 여기를 사용하여 온전한 상태에 있는 다극 요소들의 편향 요소들을 여기하는 단계; 및 다극 요소들 중 결함이 있는 편향 요소들에 대하여 결정된 여기를 수정하고, 결함이 있는 다극 요소들의 편향 요소들을 수정된 여기로 여기하는 단계를 포함하고, 수정은 결정된 여기에 대한 보정 여기의 가산을 포함하고, 보정 여기는 결함이 있는 다극 요소의 모든 편향 요소들에 대하여 동일하다.

대 표 도


도 2


도 3


도 8


도 4

(52) CPC특허분류
H01J 37/153 (2013.01)
H01J 37/28 (2020.05)
H01J 2237/0453 (2013.01)
H01J 2237/1532 (2013.01)
H01J 2237/24564 (2013.01)
(72) 발명자
토마, 아르네
독일, 73430 아알렌, 제펠린스트라쎄 49
메탈리디스, 게오르고
독일, 89551 쾨닉스브론, 웨이커스베르그스트라쎄 24
자코비, 조르그
독일, 89542 헤르브레키틴겐, 브렉트스트라쎄 2
슈베르트, 스테판
독일, 73447 오버코헨, 아돌프-콜핑-스트라쎄 47
렌케, 랄프
독일, 73466 라우크하임, 하우스렌애커 1
비허, 울리히
독일, 73467 키르흐하임/디르겐하임, 오베레 스트라쎄 5
사로프, 얀코
독일, 73431 아알렌, 포이어바크스트라쎄 3
쿠리지, 게오르그
독일, 73433 아알렌, 안톤-헤겔레-스트라쎄 6

명 세 서

청구범위

청구항 1

멀티빔 입자 빔 시스템으로서,

복수의 입자 빔들을 생성하도록 구성된 멀티빔 입자원; 및

복수의 멀티 애퍼처 판들을 포함하며,

상기 복수의 멀티 애퍼처 판들의 각각은 복수의 애퍼처들을 포함하며;

상기 복수의 멀티 애퍼처 판들 및 상기 복수의 멀티 애퍼처 판들의 상기 복수의 애퍼처들은 상기 복수의 입자 빔들의 각각의 입자 빔이 상기 복수의 멀티 애퍼처 판들의 각각의 멀티 애퍼처 판의 상기 복수의 애퍼처들 중 하나의 애퍼처를 통과하도록 배열되며; 상기 복수의 멀티 애퍼처 판들의 각각의 멀티 애퍼처 판의 상기 복수의 애퍼처들의 각각의 애퍼처는 상기 복수의 입자 빔들 중 하나의 입자 빔에 의해 통과되며;

상기 복수의 멀티 애퍼처 판들의 각각의 멀티 애퍼처 판은 상기 멀티 애퍼처 판의 상기 복수의 애퍼처들의 제1 서브세트의 애퍼처들을 가지며;

상기 복수의 멀티 애퍼처 판들의 각각의 멀티 애퍼처 판의 상기 복수의 애퍼처들의 상기 제1 서브세트의 애퍼처들의 각각의 애퍼처에 대해 적어도 하나의 제어가능한 편향 요소가 제공되며;

상기 복수의 입자 빔들의 각각의 입자빔은, 상기 복수의 멀티 애퍼처 판들의 상기 복수의 애퍼처들을 통과할 때, 상기 복수의 멀티 애퍼처 판들 중 하나의 멀티 애퍼처 판의 상기 제1 서브세트에 포함되며 상기 제어 가능한 편향 요소가 제공된 하나의 애퍼처를 통과하는, 멀티빔 입자 빔 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 제어가능한 편향 요소를 설정가능한 여기로 여기하도록 구성된 제어기를 더 포함하는, 멀티빔 입자 빔 시스템.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 복수의 멀티 애퍼처 판들 중 적어도 하나의 멀티 애퍼처 판은 상기 멀티 애퍼처 판의 상기 복수의 애퍼처들의 제2 서브세트의 애퍼처들을 가지며;

상기 제2 서브세트 애퍼처들의 각각의 애퍼처에 대해 적어도 하나의 설정된 편향 요소가 제공되며,

상기 적어도 하나의 설정된 편향 요소의 여기는 고정된, 멀티빔 입자 빔 시스템.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 적어도 하나의 제어가능한 편향 요소는, 전압 공급 시스템에 전기적으로 연결된 적어도 하나의 전극을 갖는, 멀티빔 입자 빔 시스템.

청구항 5

멀티빔 입자 빔 시스템으로서,

적어도 하나의 멀티애퍼처 판; 및

전압 공급 시스템을 포함하고;

각각의 멀티애퍼처 판은 복수의 애퍼처들을 포함하며;

각각의 멀티애퍼처 판의 상기 복수의 애퍼처들의 각각의 애퍼처에 대해 적어도 하나의 제어가능한 편향 요소가 제공되며;

상기 전압 공급 시스템은, 공급 라인들을 통해, 상기 제어가능한 편향 요소들에 설정가능한 여기들을 공급하도록 구성되며;

각각의 멀티애퍼처 판의 상기 복수의 애퍼처들의 복수의 애퍼처들은 애퍼처들의 복수의 그룹들 중 하나의 애퍼처 그룹에 속하며;

각각의 애퍼처 그룹의 모든 편향 요소들은 상기 전압 공급 시스템으로부터, 공통의 공급 라인을 통해, 같은 여기들을 공통적으로 공급받는, 멀티빔 입자 빔 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 멀티애퍼처 판의 각각의 애퍼처 그룹들의 적어도 한 쌍의 애퍼처들의 상기 애퍼처들은 상기 멀티애퍼처 판의 상기 애퍼처들 중 최근접 이웃인, 멀티빔 입자 빔 시스템.

청구항 7

상기 멀티애퍼처 판의 상기 애퍼처들은 각각의 애퍼처에 대해 원주 방향으로 분산되어 있는 같은 수의 제어가능한 편향 요소들을 갖는, 멀티빔 입자 빔 시스템.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제어가능한 편향 요소들의 개수는 8개인, 멀티빔 입자 빔 시스템.

청구항 9

제5항 또는 제6항에 있어서,

각각의 애퍼처의 모든 그룹들에 대해 같은 그룹에 속한 애퍼처들의 개수의 산술 평균은 2 내지 3인, 멀티빔 입자 빔 시스템.

청구항 10

제5항 또는 제6항에 있어서,

각각의 입자 빔이 각각의 멀티애퍼처 판의 애퍼처들 중 하나를 통해 통과하도록 복수의 입자 빔을 생성하도록 구성된 멀티빔 입자원; 및

복수의 렌즈들을 더 포함하며 - 각각의 렌즈는 상기 복수의 입자 빔의 빔 경로에 있어 상기 멀티애퍼처 판의 상류측 또는 하류측에 배열됨 -;

상기 멀티애퍼처 판의 상기 애퍼처들의 편향 요소들은 상기 공급 라인들에 연결되고;

상기 전압 공급 시스템은, 각각의 애퍼처의 상기 제어 가능한 편향 요소들을 여기시켜 상기 복수의 렌즈들에 의해 생성된 필드 비점수차가 보상되는 방식으로 상기 애퍼처를 통과하는 상기 입자 빔에 영향을 미치도록 구성된, 멀티빔 입자 빔 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은, 다수의 입자 빔을 이용하여 동작하는 멀티빔 입자 빔 시스템, 및 멀티빔 입자 빔 시스템을 동작시키는 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] US 2015/0348738 A1은, 복수의 멀티애퍼처 판(multi-aperture plate)을 사용하여 입자 빔을 다수의 입자 빔으

로 분할하고 전기장을 제공함으로써 다수의 입자 빔의 개별 입자 빔에 영향을 미치는 멀티빔 입자 빔 시스템을 개시한다. 예를 들어, 링 전극은, 입자 빔이 통과하는 멀티애퍼처 판의 개구에 사용되어, 입자 빔을 포커싱하는 정전기장을 제공하고, 개구 주위에 원주 방향으로 분산 배열된 전극들은 입자 빔 상에서 빔 편향기 또는 스티그메이터(stigmator)로서 기능하도록 쌍극장 또는 사중극장을 제공하는 데 사용된다.

[0003] 이를 위해서는, 입자 빔에 영향을 미치도록 멀티애퍼처 판의 개구 상에 장착된 다수의 전극에 설정가능한 전압을 공급해야 한다. 멀티빔 입자 빔 시스템이 동작할 수 있는 입자 빔의 수를 늘리고자 하므로, 멀티애퍼처 판에 있는 매우 많은 수의 전극에 전압을 공급해야 한다.

[0004] 전극이 제공되는 개구를 갖는 멀티애퍼처 판은, 생산에 많은 비용이 소모되는 복잡한 구성요소이다. 생산 중에 불가피하게 발생하는 오류로 인해, 하나 이상의 전극에 결함이 발생하고, 따라서 동작 중에 전극의 전압을 원하는 값으로 조정할 수 없다. 멀티애퍼처 판의 많은 전극 중 하나의 전극만이 결함이 있다면, 이는 일반적으로 멀티애퍼처 판 전체가 결함이 있어서 사용될 수 없음을 의미한다. 또한, 동작 중 멀티애퍼처 판의 개별 전극에서 발생하는 결함으로 인해 멀티애퍼처 판 전체를 교체해야 한다. 여기서, 매우 높은 것으로 여겨지는 멀티애퍼처 판의 생산 거부율과 멀티애퍼처 판의 동작 중에 매우 높은 것으로 여겨지는 고장률도 분명히 인식해야 한다. 이러한 상황에서 벗어날 수 있는 방법은 멀티애퍼처 판을 위한 더욱 안정적인 생산 방법을 개발하는 것이며, 이것 또한 더욱 복잡해지고 있다.

발명의 내용

[0005] 이에 따라, 본 발명의 목적은, 개별 전극의 결함에 관하여 멀티애퍼처 판의 생산 방법에 대한 요구 사항을 감소시키는 해당 동작을 위한 멀티빔 입자 빔 시스템 및 방법을 제안하는 것이다.

[0006] 본 발명의 실시예에 따르면, 멀티빔 입자 빔을 동작시키는 방법은, 다수의 입자 빔의 각 입자 빔이 다극 요소(multipole element)를 횡단하는 방식으로 다수의 입자 빔을 생성하는 단계를 포함하고, 각 다극 요소는, 해당 다극 요소의 중심 주위에 원주 방향으로 분산 배열된 복수의 편향 요소를 갖고, 각 다극 요소는 온전한 상태(intact)이거나 결함이 있다.

[0007] 다수의 입자 빔을 다양한 방법으로 생성할 수 있다. 예를 들어, 입자 빔은, 다수의 개구를 갖는 멀티애퍼처 판을 지향하는 입자 방출기의 도움으로 생성될 수 있으며, 이에 따라 다수의 입자 빔은 멀티애퍼처 판의 하류측에 있는 빔 경로에서 생성된다. 또한, 다수의 입자 방출기를 제공할 수 있으며, 각 입자 방출기는 다수의 입자 빔 중 하나의 입자 빔을 생성한다.

[0008] 입자 빔 시스템은, 통상적으로 대상에 다수의 입자 빔을 지향시키고 대상에서 입자 빔을 포커싱하는 입자 광학 유닛을 포함한다. 입자 광학 유닛은, 결함이 없어야 할 필요는 없으며, 수차가 발생할 수 있다. 수차들 중 하나는, 예를 들어, 빔 번들(beam bundle)을 형성하는 다수의 입자 빔 중의 임의의 주어진 입자 빔에 대한 영향이 빔 번들 내의 해당 입자 빔의 위치에 의존하는 비점수차이다.

[0009] 개별 입자 빔에 대한 수차의 영향을 적어도 부분적으로 보상하기 위해, 다극 요소들을 제공하며, 입자 빔들 중 하나의 입자 빔이 각 다극 요소를 통과한다. 다극 요소의 중심 주위에 원주 방향으로 분산 배열된 다극 요소의 편향 요소들은, 입자 빔의 개별 입자들을 편향함으로써 다극 요소를 통과하는 입자 빔에 영향을 미치는 필드를 생성하도록 동작 동안 여기된다. 입자 빔에 영향을 미치는 필드는 전기장 및/또는 자기장일 수 있다. 이에 따라, 편향 요소는, 전기장을 생성하기 위한 전극 및 자기장을 생성하기 위한 코일을 포함할 수 있다. 이어서, 편향 요소는, 미리 결정된 평면에서 각 입자 빔의 포커싱이 적어도 하나의 미리 결정된 기준을 충족하는 방식으로 여기될 수 있다. 미리 결정된 평면은, 예를 들어, 입자 빔이 지향하는 대상의 표면일 수 있다. 미리 결정된 기준으로는, 예를 들어, 미리 결정된 평면에서의 입자 빔의 단면이 가능한 한 작거나 미리 정해진 값을 갖도록 각 입자 빔이 이 평면에서 포커싱되거나 또는 그 단면의 형상이 원형 형상으로부터 한계값보다 작은 편차를 가져야 할 수 있다. 다른 기준도 가능하다.

[0010] 예시적인 다극 요소는 2개의 전극을 갖고, 이들 전극은, 다극 요소의 중심에 대하여 서로 반대측에 배치되고, 다극 요소가 빔 편향기처럼 다극 요소를 통과하는 입자 빔 상에서 기능하는 방식으로 여기될 수 있으며, 이러한 빔 편향기는 여기에 의해 설정가능한 각도만큼 입자 빔을 편향한다. 다른 예시적인 다극 요소는 4개의 전극을 갖고, 이들 전극은, 다극 요소의 중심 주위에 원주 방향으로 배열되며, 여기에 의해 설정가능한 각도만큼 입자 빔을 편향하며 여기에 의해 설정가능한 방향으로 입자 빔을 편향하는 빔 편향기처럼 다극 요소를 통과하는 입자 빔 상에서 다극 요소가 기능하는 방식으로, 또는 여기에 의해 설정가능한 강도로 입자 빔에 비점수차식으로 영향을 미치는 스티그메이터처럼 다극 요소를 통과하는 입자 빔 상에서 다극 요소가 기능하는 방식으로 여기될 수

있다. 또 다른 예시적인 다극 요소는 8개의 전극을 갖고, 이들 전극은, 다극 요소의 중심 주위에 원주 방향으로 배열되며, 여기에 의해 설정가능한 배향 및 강도로 입자 빔에 비점수차식으로 영향을 미치는 스티그메이터처럼 다극 요소를 통과하는 입자 빔 상에서 다극 요소가 기능하는 방식으로 여기될 수 있다.

[0011] 입자 빔 시스템의 동작 중에 편향 요소를 여기하도록, 편향 요소에 여기를 공급하는 제어기가 제공될 수 있다. 여기는 전기 라인을 통해 제어기로부터 개별 편향 요소로 전달될 수 있다. 편향 요소가 전극인 경우, 전기 라인은 제어기에 의해 제공되는 전압을 각 전극에 전도하는 데 적합한 도전성 연결부이다. 편향 요소가 코일인 경우, 라인은 코일을 여기하는 데 필요한 전류를 코일에 전도할 수 있는 도전성 연결부이다.

[0012] 멀티애퍼처 판의 생산 동안 또는 멀티애퍼처 판의 동작 동안, 개별 다극 요소가 온전한 상태에 있는 것이 아니라 오히려 결함이 있게 하는 오류가 발생할 수 있다. 예를 들어, 다극 요소의 단일 편향 요소는, 동작 중에 원하는 대로 여기될 수 없다는 점에서 결함이 있을 수 있다. 예를 들어, 관련된 편향 요소로 연결되는 전기 라인에는 라인 중단이 있을 수 있다. 예를 들어, 문제되고 있는 편향 요소를 형성하는 전극은 절연성 결함을 가질 수 있으며, 그 결과, 이 전극은, 멀티애퍼처 판 또는 다른 전극에 도전성 연결되며, 이러한 이유로 인해 원하는 전압을 취할 수 없다. 예를 들어, 주어진 편향 요소를 형성하는 코일은 라인 중단 또는 단락을 가질 수 있으며, 그 결과, 이 코일을 통해 원하는 강도를 갖는 전류 흐름이 불가능하다.

[0013] 이 방법은, 다극 요소를 통과하는 입자 빔에 영향을 미치도록 다극 요소의 편향 요소에 대한 여기를 결정하는 단계를 더 포함하며, 각 다극 요소의 편향 요소들에 대한 여기는, 원하는 방식으로 다극 요소를 통과하는 입자 빔에 영향을 미치도록 결정된다.

[0014] 이 방법은, 온전한 상태의 다극 요소의 편향 요소를 결정된 여기로 여기하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0015] 개별 입자 빔에 유리하게 영향을 미치는 방식으로 동작 중에 다극 요소의 편향 요소를 여기하려면, 이에 필요한 여기를 결정해야 한다. 예시적인 실시예에 따르면, 이러한 목적을 위해, 각 다극 요소에 대해, 다극 요소를 통과하는 입자 빔의 원하는 영향을 나타내는 변수를 결정한다. 적어도 하나의 변수는, 예를 들어, 입자 빔이 대상에 입사할 때 나타나는 빔 비점수차의 정도를 포함할 수 있다. 이어서, 상기 입자 빔이 통과하며 스티그메이터의 형태로 된 다극 요소의 개별 편향 요소들의 여기는, 스티그메이터의 편향 요소들이 결정된 여기로 여기될 때, 적어도 하나의 변수에 의해 표현되는 입자 빔의 영향이 달성되도록 스티그메이터를 통과하는 입자 빔에 대한 편향 요소들의 영향이 있는 방식으로 결정될 수 있다.

[0016] 각 다극 요소의 편향 요소들의 여기는, 특히, 다극 요소의 여기들의 평균값이 모든 다극 요소에 대해 동일한 값을 갖도록 결정될 수 있다. 평균값은 다극 요소의 편향 요소들의 여기들의 산술 평균으로서 계산될 수 있다. 예를 들어, 편향 요소가 전극인 경우, 여기 결정은 전압 결정을 포함하고, 편향 요소를 여기하는 것은 결정된 전압을 전극에 인가하는 것을 포함한다. 이어서, 여기들의 평균값은 전극에 인가되는 전압들의 평균값에 의해 제공된다. 예를 들어, 상기 평균값이 예를 들어 스티그메이터로서 동작되는 모든 다극 요소에 대하여 동일하면, 개별 다극 요소 또는 스티그메이터의 영향은, 개별 입자 빔에 대한 편향 및 비점수차 영향 면에서만 다르며, 입자 빔에 대한 포커싱 영향 면에서는 그러하지 않다.

[0017] 온전한 상태의 다극 요소의 편향 요소는 전술한 바와 같이 결정된 여기로 여기될 수 있다.

[0018] 이 방법은, 결함이 있는 다극 요소들 중의 적어도 하나의 다극 요소의 편향 요소들에 대한 결정된 여기를 수정하고 결함이 있는 다극 요소의 전극들을 수정된 여기로 여기하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0019] 다극 요소가 결함이 있다면, 결함이 있는 다극 요소의 편향 요소들을 전술한 바와 같이 결정된 여기로 여기할 수 없다. 개별 편향 요소의 결함으로 인해, 예를 들어, 이러한 편향 요소를, 이러한 편향 요소에 대하여 결정된 여기로 여기하지 못할 수 있다. 이 경우, 이전에 결정된 여기는, 다극 요소의 편향 요소들을 수정된 여기로 실제로 여기할 수 있고 그럼에도 예컨대 빔 비점수차의 보상과 같은 영향의 원래의 목적을 적어도 부분적으로 달성하는, 결함이 있는 다극 요소를 통과하는 입자 빔의 영향을 달성할 수 있도록, 수정된다. 결함이 있는 다극 요소의 편향 요소들의 여기 수정은, 예를 들어, 편향 요소들 중 하나의 편향 요소의 여기가 자유롭게 설정될 수 있는 것이 아니라 특정되어 있다는 사실을 고려한 것이다.

[0020] 예시적인 실시예에 따르면, 결정된 여기의 수정은, 결함이 있는 편향 요소의 여기가 특정된 여기와 같아지게끔 결함이 있는 편향 요소가 여기되도록 수정된 여기를 결정하는 것을 포함한다. 예를 들어, 수정된 여기를 계산하기 위해 결함이 있는 편향 요소의 결정된 여기에 가산되는 보정 여기를 결정할 수 있으며, 보정 여기는 특정된 여기와 결정된 여기 간의 차만큼 크다.

[0021] 예시적인 실시예에 따르면, 다극 요소의 편향 요소들에 대한 결정된 여기의 수정은, 결정된 여기에 보정 여기를 가산하는 것을 포함한다.

[0022] 예시적인 추가 실시예에 따르면, 보정 여기는, 결함이 있는 다극 요소의 모든 편향 요소에 대하여 동일할 수 있다.

[0023] 예시적인 추가 실시예에 따르면, 보정 여기는, 결함이 있는 주어진 다극 요소의 모든 편향 요소에 대하여 동일하더라도, 결함이 있는 상이한 다극 요소들에 대하여 상이할 수 있다.

[0024] 예시적인 실시예에 따르면, 보정 여기는, 결함이 있는 편향 요소의 특정된 여기와 전술한 바와 같이 결정된 편향 요소의 여기 간의 차로서 계산될 수 있다.

[0025] 예를 들어, 결함이 있는 편향 요소의 수정된 여기가 결함에 기초하여 특정된 여기와 일치하는 경우, 결함이 있는 다극 요소의 편향 요소는 수정된 여기로 여기될 수 있다. 특히, 이러한 방식으로, 온전한 상태의 스티그메이터와 거의 동일한 방식으로 결함이 있는 다극 요소를 통과하는 특정 빔에 대한 원하는 비점수차 효과 또는 편향 효과를 제공하는 방식으로, 예를 들어, 스티그메이터로서 동작되는 다극 요소를 여기할 수 있다. 여기서, 수정된 여기로 여기된 다극 요소가, 결정된 여기로 여기된 온전한 상태의 다극 요소가 제공하지 않는 추가 효과를 다극 요소를 통과하는 입자 빔에 제공할 수 있다. 그러나 일부 상황에서는, 결함이 있는 다극 요소와 함께 멀티애퍼처 판을 사용할 때, 추가 효과에도 불구하고 결함이 있는 다극 요소를 갖는 멀티빔 입자 빔 시스템을 성공적으로 동작시킬 수 있다.

[0026] 특히, 다극 요소의 모든 여기에 동일한 보정 여기를 가산하면, 입자 빔에 대한 다극 요소의 포커싱 효과만이 실질적으로 변경되지만, 다극 요소의 편향 또는 비점수차 효과는 변경되지 않는다. 또한, 본 발명자들은, 여기에서 통상적으로 발생하는 포커싱의 변화를 실제로는 종종 무시할 수 있는 반면, 여기에서의 비교적 작은 변화로 인해 일반적으로 크게 변화하는 편향 효과 및 비점수차 효과가 실질적으로 변하지 않는다는 점을 발견하였다.

[0027] 따라서, 멀티빔 입자 빔 시스템에 대하여 특정 결함이 있는 다극 요소를 갖는 멀티애퍼처 판을 사용하는 것도 가능하며, 이것이 멀티애퍼처 판의 특정 생산 오류가 있어도 멀티애퍼처 판을 사용할 수 있고 멀티애퍼처 판이 거부되지 않는 이유이다. 따라서, 멀티애퍼처 판의 생산 동안 발생하는 거부율을 감소시킬 수 있다. 멀티빔 입자 빔 시스템의 동작 중에 결함이 발생하면, 멀티애퍼처 판의 다극 요소의 편향 요소의 여기는, 전술한 수정된 여기가 현재 결함이 있는 다극 요소의 편향 요소들에 공급되는 방식으로 더욱 변경될 수 있다. 따라서, 멀티빔 입자 빔 시스템은, 멀티애퍼처 판의 다극 요소들의 결함이 발생한 후에도 계속 동작할 수 있으며, 멀티애퍼처 판을 교체할 필요가 없다.

[0028] 본 발명의 추가 실시예에 따르면, 멀티빔 입자 빔 시스템은 복수의 멀티애퍼처 판을 포함하고, 각 멀티애퍼처 판은 다수의 개구를 갖고, 적어도 하나의 제어가능한 편향 요소는 복수의 멀티애퍼처 판의 각 멀티애퍼처 판의 개구들의 제1 서브세트에 대하여 제공되고, 복수의 멀티애퍼처 판은 빔 경로에 있어서 연속적으로 배열된다. 멀티빔 입자원은, 각 입자 빔이 해당 멀티애퍼처 판의 개구를 통해 복수의 멀티애퍼처 판을 연속적으로 통과하는 방식으로 다수의 입자 빔을 생성하도록 제공된다.

[0029] 적어도 하나의 편향 요소는, 예를 들어 전극을 포함할 수 있으며, 이러한 전극은, 전극에 설정가능한 전압을 공급하여 개구를 통과하는 입자 빔의 입자들에 대하여 편향 효과를 갖는 전기장을 생성하거나 기존의 전기장을 변경하기 위해 전압원에 연결될 수 있다. 적어도 하나의 편향 요소는, 예를 들어, 코일을 더 포함할 수 있으며, 이 코일은, 설정가능한 전류를 코일에 공급하여 개구를 통과하는 입자 빔의 입자들에 대하여 편향 효과를 갖는 자기장을 생성하거나 기존의 자기장을 변경하도록 전류원에 연결된다.

[0030] 예를 들어, 정확히 하나의 편향 요소가 개구에 제공될 수 있으며, 이러한 하나의 편향 요소는, 포커싱 또는 디포커싱 효과가 가해지는 방식으로 개구를 통과하는 입자 빔의 입자들을 편향한다. 또한, 예를 들어, 2개의 편향 요소가 개구에 제공될 수 있으며, 이러한 2개의 편향 요소는, 포커싱 또는 디포커싱 효과에 더하여 편향 효과가 가해지는 방식으로 개구를 통과하는 입자 빔의 입자들을 편향한다. 또한, 예를 들어, 4개의 편향 요소가 개구에 제공될 수 있으며, 이러한 4개의 편향 요소는, 포커싱 또는 디포커싱 효과 및 편향 효과가 입자 빔에 가해지는 방식으로 개구를 통과하는 입자 빔의 입자들을 편향하며, 입자 빔의 배향은 설정가능하다. 또한, 예를 들어, 8개의 편향 요소가 개구에 제공될 수 있으며, 이러한 8개의 편향 요소는, 포커싱 또는 디포커싱 효과 및 편향 또는 비점수차 효과가 입자 빔에 가해지는 방식으로 개구를 통과하는 입자 빔의 입자들을 편향하며, 입자 빔의 배향은 설정가능하다.

[0031] 예시적인 실시예에 따르면, 복수의 멀티애퍼처 판의 개구들의 제1 서브세트는, 각 입자 빔이 적어도 하나의 제어가능한 편향 요소가 제공된 복수의 멀티애퍼처 판의 정확히 하나의 개구를 통과하는 방식으로 배열된다.

[0032] 복수의 멀티애퍼처 판은, 개구의 수와 배열이 동일한 정도로 동일한 구성을 가질 수 있다. 이것은, 특히 다수의 입자 빔의 각 입자 빔이 복수의 멀티애퍼처 판 중의 제1 멀티애퍼처 판의 개구를 통과한 후 복수의 멀티애퍼처 판 중의 제2 멀티애퍼처 판의 개구를 통과하게 하고, 복수의 멀티애퍼처 판의 수가 2보다 크면, 상응하게 추가 멀티애퍼처 판들의 개구들을 통과하게 할 수 있다. 복수의 멀티애퍼처 판은, 복수의 멀티애퍼처 판에 있는 개구들의 배열이 동일하지만, 제어가능한 편향 요소들을 갖는 개구들의 각 배열은 다르다는 점에서 상이하다. 복수의 멀티애퍼처 판의 각각에 있어서, 제어가능한 편향 요소들을 갖는 개구들의 수는 입자 빔들의 수보다 적다.

[0033] 복수의 멀티애퍼처 판은, 입자 빔이 통과하는 각 개구에서 적어도 하나의 편향 요소를 갖는 종래의 멀티애퍼처 판의 효과에 대응하는 다수의 입자 빔에 대한 효과를 함께 갖는다. 종래의 멀티애퍼처 판에 비해 멀티애퍼처 판당 제어가능한 편향 요소의 수가 적기 때문에, 멀티애퍼처 판의 편향 요소에 여기를 공급하기 위한 요구 사항이 적다. 이는, 각각의 경우에 복수의 멀티애퍼처 판의 생산을 단순화할 수 있고, 입자 빔들이 통과하는 더 많은 수의 개구를 가능하게 하며, 입자 빔들이 통과하는 개구들의 밀도를 높일 수 있다.

[0034] 예시적인 실시예에 따르면, 제1 서브세트에 포함되지 않으며 적어도 하나의 편향 요소를 갖는 개구들의 제2 서브세트가 복수의 멀티애퍼처 판 중 적어도 하나의 멀티애퍼처 판에 제공되지만, 이러한 적어도 하나의 편향 요소의 여기는 특정되며 독립적으로 설정될 수 없다. 이는, 예를 들어, 동일한 생산 방법에 따라 편향 요소의 생산에 관한 한 복수의 멀티애퍼처 판에 모든 개구를 생성할 수 있게 한다. 그러나, 제1 및 제2 서브세트의 개구들은, 예를 들어, 제2 서브세트의 개구들의 편향 요소들에 여기를 공급하기 위해 제공되는 공급 라인이 없음으로써, 제2 서브 세트의 개구들의 편향 요소들이 여기될 수 없다는 점에서 상이하다.

[0035] 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 적어도 하나의 전극이 각각 편향 요소로서 제공되는 개구들을 갖는 멀티애퍼처 판을 구비하는 멀티빔 입자 빔 시스템을 동작시키는 방법은, 결함이 있는 하나 이상의 편향 요소를 결정하고 결함이 있는 편향 요소에 고전압 펄스를 공급하여 결함을 보정하는 단계를 포함한다.

[0036] 멀티빔 입자 빔 시스템을 위한 멀티애퍼처 판은, 마이크로미터 범위의 구조 크기를 갖는 도전체 트랙들의 조밀한 네트워크를 갖는 미세 전자 기계 시스템(MEMS)이다. 통상적으로, 멀티애퍼처 판은, 도전성 물질인 도핑된 실리콘으로 제조된 기판을 포함한다. 절연체 역할을 하는 SiO_2 층이 기판에 도포된다. 도전체 트랙은, SiO_2 층에 도포된 알루미늄 층에 의해 형성되고 리소그래피 방법을 사용하여 구조화된다. 도전체 트랙은, 예를 들어, 멀티애퍼처 판의 개구에 제공된 편향 요소에 전위 또는 전류를 공급하는 데 사용된다. 이 기능을 제공하려면, 도전체 트랙이 중단되어서는 안 되며, 또한, 도전체 트랙이 도전성 기판과 접촉하지 않아야 한다.

[0037] 완성된 멀티애퍼처 판에서는 때때로 도전체 트랙과 도전성 기판 간에 단락이 발생하는 것으로 나타났다. 한 가지 원인은, 절연 SiO_2 층이 매우 얇아서 유한한 저항을 갖기 때문일 수 있다. 도전체 트랙과 기판 사이의 결과적인 전류 흐름이 매우 커서, 편향 요소에 공급될 여기를 제공하기 위한 전압원 또는 전류원이 과부하될 수 있다. 이는, 절연 SiO_2 층이 균일하게 얇지 않고 제조 상의 이유로 일부 국부화된 영역에서 매우 얇은 경우일 수 있다. 이들 영역에서 도전체 트랙과 기판 사이의 전기 저항의 거동은 쇼트키 접촉의 특성을 갖는다고 추정된다.

[0038] 본 발명자들은, 결함이 있는 도전체 트랙에 짧은 고전압 펄스를 인가하면 도전체 트랙과 기판 사이의 단락을 제거할 수 있음을 발견하였다. 본 발명자들은, 도전체 트랙과 기판 사이의 짧은 고전압 펄스로 인한 전류가 결함을 가열하고 절연 SiO_2 층이 결함 영역에서 크기가 증가하여 다시 충분히 절연된다고 가정한다. 여기서는 0.01 ms 내지 5.0 ms, 특히, 0.1 ms 내지 1.0 ms의 기간 동안 1 kV 내지 10 kV 범위의 전압을 인가하는 것이 유리한 것으로 입증되었다.

[0039] 본 발명의 예시적인 실시예에 따르면, 멀티빔 입자 빔 시스템은, 다수의 개구를 갖는 적어도 하나의 멀티애퍼처 판, 및 공급 라인들을 통해 적어도 하나의 멀티애퍼처 판의 편향 요소들에 설정가능한 여기를 공급하도록 구성된 전압 공급 시스템을 포함하고, 적어도 하나의 제어가능한 편향 요소는, 적어도 하나의 멀티애퍼처 판의 각 개구에 제공된다. 이는, 멀티빔 입자 빔 시스템의 동작 중에, 설정가능한 여기가 전압 공급 시스템으로부터 적어도 하나의 멀티애퍼처 판의 각 편향 요소로 공급될 수 있음을 의미한다. 멀티애퍼처 판의 개구들은 개구들의 복수의 그룹에 할당될 수 있으며, 개구들의 한 그룹에 포함된 각 개구는 개구들의 다른 그룹에 포함되지 않는다. 이는, 고려 중인 복수의 그룹이 공통 개구를 포함하지 않거나 그룹들이 서로 분리되어 있음을 의미한다. 이렇게 개구들을 그룹들로 분할할 수 있는 것은, 멀티애퍼처 판의 복수의 개구에 적용되지만, 반드시

멀티애퍼처 판의 모든 개구에 적용되는 것은 아니다. 예를 들어, 그룹들로 분할하는 것은 멀티애퍼처 판의 절반이 넘는 개구들에 적용된다.

[0040] 예시적인 실시예에 따르면, 개구들의 임의의 주어진 그룹의 모든 개구 각각은 주어진 공급 라인에 연결된 적어도 하나의 편향 요소를 갖고, 그 결과, 동일한 그룹의 복수의 개구의 편향 요소들이 이러한 주어진 공급 라인에 함께 연결된다.

[0041] 종래의 멀티빔 입자 빔 시스템에서, 멀티애퍼처 판의 모든 개구의 모든 편향 요소에는, 서로 독립적으로 설정될 수 있는 여기가 공급될 수 있다. 이는, 멀티애퍼처 판의 개구를 통과하는 각 입자 빔이 상기 입자 빔에 대해 요망되거나 필요한 방식 그대로 편향 요소에 의해 제공되는 전기장 및/또는 자기장에 의해 영향을 받을 수 있음을 보장한다. 본 발명자들은, 실제로, 입자 빔의 빔 경로에서 다른 광학 요소의 촬상 수차 보상과 관련하여 입자 빔에 영향을 미치기 위해 많은 편향 요소에 동일하거나 유사한 여기가 공급되어야 한다는 점을 발견하였다. 특히, 본 발명자들은, 예를 들어, 개구를 통과하는 입자 빔에 비점수차식으로 영향을 미치기 위해 개구가 복수의 편향 요소를 갖는 경우, 인접 개구들을 통과하는 입자 빔에 원하는 대로 영향을 미치기 위해 이러한 인접 개구들이 동일하거나 유사한 여기 패턴을 수신한다는 점을 발견하였다.

[0042] 따라서, 전술한 실시예는, 동일한 그룹에 속하는 상이한 개구들의 편향 요소들에 제공되는 공통 공급 라인들을 제공한다. 따라서, 동일한 여기가 공통 공급 라인에 연결된 편향 요소들에 공급되며, 이는 이들 편향 요소의 여기가 더 이상 서로 독립적으로 설정될 수 없음을 의미한다. 그러나, 그 대가로, 멀티애퍼처 판의 개구들의 편향 요소들에 여기를 공급하는 데 사용되는 공급 라인의 수를 크게 감소시킬 수 있다. 그럼에도 불구하고, 동일한 그룹의 개구들의 적어도 일부의 편향 요소에 동일한 여기가 공급될 수 있도록 개구들의 그룹들을 선택할 수 있으므로, 거의 이상적으로 원하는 대로 편향 요소를 여기할 수 있다.

[0043] 예시적인 실시예에 따르면, 임의의 주어진 그룹의 다수의 개구 각각은, 마찬가지로 상기 개구들의 주어진 그룹에 속하는 가장 가까운 이웃으로서의 개구를 갖는다. 이는 멀티애퍼처 판의 평면에서 밀접하게 인접한 개구들이 공통 그룹에 속함을 의미한다. 이는, 예를 들어, 입자 빔이 통과하는 광학 유닛의 촬상 수차의 보상과 관련하여 이 개구를 통과하는 입자 빔에 영향을 미치기 위해 멀티애퍼처 판에서 상호 인접하는 개구들이 자신들의 편향 요소에 대하여 유사한 여기를 필요로 한다는 점을 고려한 것이다. 예시적인 실시예에 따르면, 개구들의 동일한 그룹에 속하는 개구의 수는, 멀티애퍼처 판의 개구들의 모든 그룹에 대한 산술 평균으로, 2 내지 3의 범위에 있다.

[0044] 예시적인 실시예에 따르면, 임의의 주어진 그룹의 개구들, 특히, 개구들의 모든 그룹에 있는 개구는, 동일한 수의 편향 요소, 예를 들어, 개구 주위에 원주 방향으로 분산 배열된 8개의 편향 요소를 갖는다.

[0045] 이하에서는 본 발명의 실시예를 도면에 기초하여 더욱 상세히 설명한다.

도면의 간단한 설명

[0046] 도 1은 멀티빔 입자 빔 시스템의 개략도를 도시한다.

도 2는 복수의 멀티애퍼처 판으로 구성된 장치의 개략적 단면도를 도시한다.

도 3은 도 2의 예시에 있어서 제1 멀티애퍼처 판의 평면도를 도시한다.

도 4는 도 2의 제2 멀티애퍼처 판의 평면도를 도시한다.

도 5는 도 3 및 도 4의 멀티애퍼처 판의 변형예의 개략적 평면도를 도시한다.

도 6은 결정된 여기로 여기되는 온전한 상태의 다극 요소의 개략도를 도시한다.

도 7은 도 6의 결정된 여기로 여기되는 결함이 있는 다극 요소의 개략도를 도시한다.

도 8은 수정된 여기로 여기되는 도 7의 결함이 있는 다극 요소의 개략도를 도시한다.

도 9는 멀티빔 입자 빔 시스템을 동작시키는 방법을 설명하기 위한 흐름도를 도시한다.

도 10은 멀티애퍼처 판의 다수의 개구에 대해 보정되어야 하는 빔 비점수차의 개략도를 도시한다.

도 11은 공통 공급 라인을 통해 상이한 개구들의 편향 요소들에 여기를 공급하기 위한 전기 회로의 설명도를 도시한다.

도 12는 멀티애퍼처 판의 개구들을 그룹들로 분할한 도 10에 대응하는 개략도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0047] 도 1은 다수의 입자 빔으로 동작하는 멀티빔 입자 빔 시스템(1)의 개략도이다. 멀티빔 입자 빔 시스템(1)은 다수의 입자 빔을 생성하는데, 이러한 입자 빔은 대상으로부터 방출되어 후속 검출되는 전자를 생성하도록 검사 대상에 입사한다. 멀티빔 입자 빔 시스템(1)은, 대상(7)의 표면 상의 위치(5)에 입사하며 거기에서 복수의 전자 빔 스폿을 생성하는 복수의 일차 전자 빔(3)을 사용하는 주사 전자 현미경(SEM) 유형이다. 검사 대상(7)은, 임의의 원하는 유형일 수 있으며, 예를 들어, 반도체 웨이퍼, 생물학적 샘플, 및 소형화된 요소들의 장치 등을 포함한다. 대상(7)의 표면은 대물 렌즈 시스템(100)의 대물 렌즈(102)의 대물면(101)에 배치된다.

[0048] 도 1의 확대된 상세 I1은, 평면(101)에 형성된 입사 위치(5)의 규칙적인 직사각형 필드(103)를 갖는 대물면(101)의 평면도를 도시한다. 도 1에서, 입사 위치의 수는 25이며, 이는 5X5 필드(103)를 형성한다. 입사 위치의 수 25는 간략화된 예시 때문에 적은 것이다. 실제로, 빔 또는 입사 위치의 수는, 예를 들어, 20X30, 100X100 등과 같이 훨씬 더 크게 선택될 수 있다.

[0049] 예시된 실시예에서, 입사 위치(5)의 필드(103)는, 인접한 입사 위치들 사이에 일정한 간격 P1을 갖는 실질적으로 규칙적인 직사각형 필드이다. 간격 P1의 예시적인 값은 1마이크로미터, 10마이크로미터, 및 40마이크로미터이다. 그러나, 필드(103)가, 예를 들어, 육각 대칭 형상 등의 다른 대칭 형상을 갖는 것도 가능하다.

[0050] 대물면(101)에 형성된 빔 스폿의 직경은 작을 수 있다. 상기 직경의 예시적인 값은 1나노미터, 5나노미터, 100나노미터, 및 200나노미터이다. 빔 스폿(5)을 성형(shaping)하기 위한 입자 빔(3)의 포커싱은 대물 렌즈 시스템(100)에 의해 구현된다.

[0051] 대상에 부딪히는 입자는 대상(7)의 표면으로부터 방출되는 전자를 생성한다. 대상(7)의 표면으로부터 방출되는 전자는, 전자 빔(9)을 형성하도록 대물 렌즈(102)에 의해 성형된다. 검사 시스템(1)은 다수의 전자 빔(9)을 검출 시스템(200)에 공급하도록 전자 빔 경로(11)를 제공한다. 검출 시스템(200)은 전자 빔(9)을 전자 다중 검출기(209)로 지향시키는 투사 렌즈 장치(205)를 갖는 전자 광학 유닛을 포함한다.

[0052] 도 1의 상세 I2는, 전자 빔(9)이 위치(213)에 입사하는 개별 검출 영역이 있는 평면(211)의 평면도를 도시한다. 입사 위치(213)는 서로 규칙적인 간격 P2를 갖는 필드(217)에 놓여 있다. 간격 P2의 예시적인 값은 10마이크로미터, 100마이크로미터, 및 200마이크로미터이다.

[0053] 일차 전자 빔(3)은, 적어도 하나의 전자원(301), 적어도 하나의 시준 렌즈(303), 멀티애퍼처 판 장치(305), 및 필드 렌즈(307)를 포함하는 빔 생성 장치(300)에서 생성된다. 전자원(301)은, 멀티애퍼처 판 장치(305)를 조명하는 빔(311)을 형성하도록 시준 렌즈(303)에 의해 시준되는 발산 전자 빔(309)을 생성한다.

[0054] 도 1의 상세 I3은 멀티애퍼처 판 장치(305)의 평면도를 도시한다. 멀티애퍼처 판 장치(305)는, 내부에 복수의 개구(315)가 형성된 멀티애퍼처 판(313)를 포함한다. 개구들(315)의 중간 지점들(317)은, 대물면(101)의 빔 스폿(5)에 의해 형성된 필드(103)에 대응하는 필드(319)에 배열된다. 개구들(315)의 중간 지점들(317) 사이의 간격 P3은, 5마이크로미터, 100마이크로미터, 및 200마이크로미터의 예시적인 값을 가질 수 있다. 개구(315)의 직경 D는 개구들의 중간 지점들 사이의 간격 P3보다 작다. 직경 D의 예시적인 값은 0.2XP3, 0.4XP3, 및 0.8XP3이다.

[0055] 조명 빔(311)의 전자는 개구(315)를 통과하여 전자 빔(3)을 형성한다. 판(313)에 입사하는 조명 빔(311)의 전자는, 판에 의해 흡수되고, 전자 빔(3)의 형성에 기여하지 않는다.

[0056] 멀티애퍼처 판 장치(305)는, 빔 포커스(323)가 평면(325)에 형성되는 방식으로 전자 빔(3)을 포커싱할 수 있다. 포커스(323)의 직경은, 예를 들어, 10나노미터, 100나노미터, 및 1마이크로미터일 수 있다.

[0057] 필드 렌즈(307) 및 대물 렌즈(102)는, 대물면(101) 상에 포커스가 형성된 평면(325)을 촬상하기 위한 제1 촬상 입자 광학 유닛을 제공하며, 이때, 빔 스폿 또는 입사 위치(5)의 필드(103)가 거기에서 대상(7)의 표면 상에 형성된다.

[0058] 대물 렌즈(102) 및 투사 렌즈 장치(205)는, 검출 평면(211) 상에 대물면(101)을 촬상하기 위한 제2 촬상 입자 광학 유닛을 제공한다. 따라서, 대물 렌즈(102)는 제1 및 제2 입자 광학 유닛의 일부인 렌즈인 반면, 필드 렌즈(307)는 제1 입자 광학 유닛에만 속하고 투사 렌즈 장치(205)는 제2 입자 광학 유닛에만 속한다.

[0059] 빔 스위치(400)는, 멀티애퍼처 판 장치(305)와 대물 렌즈 시스템(100) 사이의 제1 입자 광학 유닛의 빔 경로에 배치된다. 빔 스위치(400)는, 또한, 대물 렌즈 시스템(100)과 검출 시스템(200) 사이의 빔 경로에서 제2 입자 광학 유닛의 일부이다.

[0060] 예를 들어, 입자원, 멀티애퍼처 판, 및 렌즈와 같이 이러한 멀티빔 입자 빔 시스템과 그 내부에 사용되는 구성 요소에 관한 추가 정보는, 국제출원번호 WO 2005/024881, WO 2007/028595, WO 2007/028596, WO 2007/060017 A2, 및 독일 특허 출원번호 DE 10 2013 016 113 A1, DE 10 2013 014 976 A1, 및 DE 10 2014 008 083 A1로부터 취득될 수 있으며, 이들의 개시 내용 전체는 본원에 참고로 원용된다.

[0061] 도 2는 멀티애퍼처 판 조립체(305)의 부분 단면도이다. 이것은, 이미 전술한 멀티애퍼처 판(313)을 포함하고, 이러한 멀티애퍼처 판은, 자신의 개구(315)와 함께 조명 입자 빔(311)으로부터 다수의 입자 빔(3)을 형성하는 데 사용된다. 멀티애퍼처 판 장치(305)는 복수의 추가 멀티애퍼처 판을 더 포함한다. 설명된 예에서 복수의 추가 멀티애퍼처 판의 수는 2이다.

[0062] 2개의 추가 멀티애퍼처 판은, 스티그메이터(333)를 갖는 제1 멀티애퍼처 판(331) 및 스티그메이터(337)를 갖는 제2 멀티애퍼처 판(335)이다. 멀티애퍼처 판(331)은 멀티애퍼처 판(313)의 하류측에 있는 빔 경로에 배치되고, 멀티애퍼처 판(335)은 멀티애퍼처 판(331)의 하류측에 있는 빔 경로에 배치된다. 멀티애퍼처 판(331, 335) 각각은, 멀티애퍼처 판(313)의 하류측에 있는 빔 경로에 형성된 입자 빔이 통과하는 다수의 개구(339)를 갖는다. 이를 위해, 멀티애퍼처 판(313)의 개구(315)의 중심, 멀티애퍼처 판(331)의 개구(339)의 중심, 및 멀티애퍼처 판(335)의 개구(339)의 중심은, 각 입자 빔에 대한 빔 축선(341)을 따라 배열되고, 그 결과, 입자 빔은 멀티애퍼처 판(313)의 개구(315), 멀티애퍼처 판(331)의 개구(339), 및 멀티애퍼처 판(335)의 개구(339)를 연속적으로 통과한다. 도 2에서, 빔 축선들(341)은 멀티애퍼처 판(331)에 직각으로 배향되는데, 이는 멀티애퍼처 판(313)을 조명하는 입자 빔(311)이 평행 빔이기 때문이다. 그러나, 입자 빔이 수렴 빔 또는 발산 빔일 수도 있으며, 이는 빔 축선들(341)이 모두 멀티애퍼처 판(313)에 대하여 직각으로 배향되지는 않음을 의미한다.

[0063] 제1 멀티애퍼처 판(331)의 스티그메이터(333)와 제2 멀티애퍼처 판(335)의 스티그메이터(337) 각각은 개구(339)를 중심으로 원주 방향으로 분산 배열된 8개의 편향 요소(334)에 의해 형성된다.

[0064] 멀티애퍼처 판(331 및 335)의 모든 개구(339)에 스티그메이터(333 및 337)가 각각 제공되는 것은 아니다. 이에 따라, 편향 요소(334)는 멀티애퍼처 판(331, 335)의 개구들(339) 각각에 제공되지 않는다. 오히려, 편향 요소들(334)은, 제1 멀티애퍼처 판(331)의 개구들(339)의 제1 서브세트에 제공되고 제2 멀티애퍼처 판(335)의 개구들(339)의 제1 서브세트에도 제공된다. 편향 요소들(334)이 제공되는 멀티애퍼처 판(331 및 335)의 개구들(339)의 서브세트들은 다음과 같은 기준을 충족한다: 제1 멀티애퍼처 판(331) 및 제2 멀티애퍼처 판(335)의 개구들(339)을 통과하는 각 입자 빔은, 편향 요소들(334)이 제공된 정확히 하나의 개구(339)를 통과한다.

[0065] 도 3은 스티그메이터(333)를 갖는 제1 멀티애퍼처 판(331)의 평면도를 도시하고, 도 4는 스티그메이터(337)를 갖는 제2 멀티애퍼처 판(335)의 평면도를 도시한다. 도 3 및 도 4로부터 제1 및 제2 멀티애퍼처 판(331, 335) 각각이 육각형 패턴으로 배열된 61개의 개구(339)를 갖는다는 것을 알 수 있다. 멀티애퍼처 판(331, 335)은 둘 다, 편향 요소들(334)이 제공된 개구들(339)을 가지며, 이들 편향 요소는 각 개구(339) 주위에 원주 방향으로 분산 배열되어 있다. 그러나, 멀티애퍼처 판(331 및 335)은 둘 다 편향 요소들(334)이 배열되지 않는 개구들(339)도 갖는다. 도 3의 라인(345)은, 편향 요소들(334)이 제공된 제1 멀티애퍼처 판(331)의 개구들(339)의 서브세트를 둘러싼다. 이러한 개구들(339)의 제1 서브세트는, 개구들(339)의 육각형 패턴으로 중앙에 배열된 제1 멀티애퍼처 판(331)의 19개의 개구(339)이다. 도 3의 라인(347)은 제1 멀티애퍼처 판(331)의 모든 개구(339)를 둘러싼다. 라인(345)의 외부와 라인(347) 내에 배열된 개구들(339)은, 편향 요소(334)가 제공되지 않은 개구들(339)의 제2 서브세트를 형성한다. 제1 멀티애퍼처 판(331)의 개구들(339)의 제2 서브세트의 개구들(339)은 개구들(339)의 육각형 배열의 에지에 놓인다.

[0066] 라인(345 및 347)은 또한 도 4에 도시되어 있다. 그러나, 이 경우, 편향 요소들(334)이 제공된 개구들(339)의 제1 서브세트에 속하는 개구들(339)은 라인(345)의 외부와 라인(347) 내에 배열되는 반면, 편향 요소(334)가 없는 개구들(339)를 갖는 제2 서브세트의 개구들(339)은 라인(345) 내에 위치한다. 제1 멀티애퍼처 판(331)의 개구들(339)의 제1 및 제2 서브세트의 배열은 제2 멀티애퍼처 판(335)의 제1 및 제2 서브세트의 배열에 상보적이라는 점이 명백하며, 이는 각 입자 빔이 편향 요소들(334)이 제공된 2개의 멀티애퍼처 판(331 및 335)에서 정확히 하나의 개구를 통과한다는 조건이 충족됨을 의미한다.

[0067] 2개의 멀티애퍼처 판(331, 335)의 각각은, 공급 회로(351)에 의해 제공되는 설정가능한 여기를 편향 요소(334)

에 공급하기 위한 공급 라인(349)을 포함한다. 공급 라인들(349) 중 몇 개만이 도 3 및 4에 도시되어 있다. 편향 요소(334)가 전기장을 생성하기 위한 전극이면, 공급 회로(351)는 전압 공급 수단이다. 편향 요소(334)가 자기장을 생성하기 위한 코일이면, 공급 회로(351)는 전류 공급 수단이다. 공급 회로(351)는 편향 요소(334)에 적절한 여기를 공급하기 위해 제어기(353)에 의해 제어된다. 편향 요소(334)를 여기하는 데 필요한 공급 라인(349)의 수가 제1 서브세트의 개구들(339)의 수의 배수라는 점은 명백하다. 그러나, 각각의 멀티애퍼처 판(331 또는 335)의 제1 서브세트의 개구들(339)의 수가 각각의 멀티애퍼처 판(331 또는 335)의 개구(339)의 총 수보다 적으므로, 2개의 멀티애퍼처 판(331 및 335) 중 하나에 제공되는 공급 라인(349)의 수는, 모든 개구(339)가 제어가능한 편향 요소를 갖는 종래의 멀티애퍼처 판에 비해 상당히 적다.

[0068] 도 2, 도 3, 및 도 4를 참조하여 설명된 멀티애퍼처 판 장치(305)의 변형인 도면에 도시되지 않은 예시적인 실시예에 따르면, 편향 요소들(334)은 모든 개구(339)에 제공된다. 특히, 편향 요소(334)들은, 복수의 멀티애퍼처 판(331, 335)의 개구들(339)의 제2 서브세트의 개구들(339)에도 제공된다. 그러나, 개구들(339)의 제2 서브세트의 편향 요소들(334)은, 상기 편향 요소들이 라인 연결(349)을 통해 전압원 또는 전류원(351)에 연결되어 있지 않기 때문에, 이러한 변형된 예시적인 실시예에서 제어될 수 없다.

[0069] 도 5는, 도 2 내지 도 4를 참조하여 설명된 멀티애퍼처 판 장치(305)의 추가 변형예를 도시하며, 개구들의 제1 및 제2 서브세트가 멀티애퍼처 판들 상에 배열되는 방식에 있어서 도 2 내지 도 4의 멀티애퍼처 판 장치와 다르다. 도 5는 스티그메이터(333)를 갖는 제1 멀티애퍼처 판(331)의 평면도를 도시한다. 도 5의 라인들(361) 각각은 제어가능한 편향 요소들(334)이 제공된 개구들(339)의 제1 서브세트의 개구들(339)의 그룹을 둘러싸는 반면, 라인(361)에 의해 둘러싸이지 않은 개구들(339)의 제2 서브세트는 제어가능한 편향 요소를 갖지 않는다. 라인으로 둘러싸인 그룹은 화살표 형상 또는 부메랑 형상의 도형으로서 배열된다. 연관된 제2 멀티애퍼처 판(335)(도면에 도시되지 않음)은, 도 5에 도시된 제1 서브세트에 대하여 상보적인 제1 서브세트의 개구들(339)의 배열을 갖는다.

[0070] 도 2 내지 도 5를 참조하여 설명된 실시예에서는, 8개의 편향 요소가 각 개구에 제공되고, 그 결과, 형성된 다극 요소가 스티그메이터로서 동작될 수 있다. 각 입자 빔이 적어도 하나의 편향 요소를 갖는 정확히 하나의 개구를 통과하는 반면 이 입자 빔이 통과하는 나머지 개구는 이러한 적어도 하나의 제어가능한 편향 요소를 갖지 않는 방식으로 빔 경로에 있어서 복수의 멀티애퍼처 판을 연속적으로 제공하는 전술한 원리는, 한 편향 요소, 또는, 예를 들어, 중심 주위에 원주 방향으로 분산 배열된 2개 혹은 4개의 편향 요소를 갖는 개구에도 적용될 수 있다.

[0071] 도 6은 멀티애퍼처 판에서 개구의 중심(371) 주위에 원주 방향으로 분산 배열된 편향 요소들(334)의 평면도의 개략도이다. 편향 요소들(334)은, 개구를 통과하는 입자 빔의 빔 비점수차의 목표 보상을 위해 스티그메이터(333)를 함께 형성한다. 이를 위해, 편향 요소는, 빔 비점수차가 가능한 한 보상되도록 결정되는 여기로 여기된다. 도시된 예에서, 편향 요소는 전극이고, 보상을 위해 결정된 여기는 개별 전극(334)에 공급되는 전압 V_1, V_2,... V_8이다.

[0072] 도 7은 도 6에 대응하는 편향 요소(334)의 예시이지만, 이 경우에 참조번호 334'으로 지정된 편향 요소에는 결함이 있다. 예를 들어, 이 편향 요소(334')로의 공급 라인이 차단되거나, 또는 편향 요소(334')가 예를 들어 접지되는 등의 경우가 있다. 도 7의 편향 요소 또는 전극(334)에 도 6의 미리 결정된 전압 V_1, V_2,... V_8이 공급되면, 결함이 있는 전극(334')은 전압 V_4를 취할 수 없다. 반대로, 결함 때문에, 이 전극은 도 7에서 V_{err}로 지정된 다른 전압을 취한다. 그러면, 개구를 통과하는 입자 빔의 수차에 대해 만족스러운 보상을 달성할 수 없다.

[0073] 도 8은 결함이 있는 편향 요소(334')를 갖는 도 7의 편향 요소(334)를 예시한다. 그러나, 도 8의 편향 요소는 도 7 또는 도 6에 비해 수정된 여기로 여기된다. 수정된 여기는, 도 6의 이전에 결정된 여기에 보정 여기를 가산함으로써 결정된다. 특히, 전압 V_1+dV, V_2+dV,... V_8+dV가 전극(334)에 공급된다. 여기서, 보정 여기 dV는 모든 편향 요소에 대해 동일하다. 보정 여기 dV의 값은, $V_4+dV = V_{err}$인 관계가 충족되도록 결정된다.

[0074] 결함 전극(334')에 공급되는 수정된 전압은 결함으로 인해 결함 전극이 취하는 전압과 동일하므로, 편향 요소를 수정된 여기로 실제로 여기할 수 있다. 또한, 개별 편향 요소들 간의 여기 차는, 온전한 상태의 편향 요소들 중의 편향 요소들의 여기 차와 동일하다(도 6 참조). 이러한 차가 동일하므로, 특히, 결함이 있는 스티그메이터(333)를 통과하는 입자 빔의 빔 비점수차를 온전한 상태의 스티그메이터와 정확하게 동일한 방식으로 보상할 수 있다. 도 8에서 결함이 있는 스티그메이터(333)의 전극들(334)에 인가되는 수정된 전압들의 평균값은, 도 6의

온전한 상태의 스티그메이터(333)의 전극들(334)에 인가되는 결정된 전압의 평균값보다 dV만큼 더 높다. 따라서, 수정된 여기는, 도 6의 온전한 상태의 스티그메이터(333)를 통과하는 빔에 비해 도 8의 결함이 있는 스티그메이터(333)를 통과하는 빔에 대하여 포커싱 렌즈의 추가 효과를 발휘한다. 일부 상황에서, 이러한 추가 효과는 빔에 불리한 영향을 미칠 수 있으며, 이러한 불리한 영향은, 결함이 있는 스티그메이터에도 불구하고 빔 비점수차를 보상하는 유리한 효과가 우세하기 때문에, 허용될 수 있다.

[0075] 이하에서는 입자 빔 장치를 동작시키는 방법을 도 9에 도시된 흐름도를 참조하여 설명한다. 처음에, 단계(S1)에서는, 멀티빔 입자 빔 시스템이 동작하는 다수의 입자 빔에서 발생하는 임의의 빔 비점수차를 결정한다. 이 결정은 멀티빔 입자 빔 시스템으로 수행되는 측정을 기반으로 행해질 수 있다. 그러나, 예를 들어, 데이터베이스에 저장된 정보에 기초하여 결정을 행하는 것도 가능하다.

[0076] 단계(S3)에서는, 빔 비점수차를 보상하기 위해 스티그메이터의 전극에 인가되는 전압을 결정한다.

[0077] 단계(S5)에서는, 어떤 스티그메이터가 온전한 상태에 있고 어떤 스티그메이터가 결함이 있는지를 결정한다. 이 결정은, 멀티빔 입자 빔 시스템에서의 측정에 의해 다시 행해질 수 있다. 온전한 상태의 스티그메이터 및 결함이 있는 스티그메이터가 이미 알려져 있고 관련 정보를 데이터베이스에서 이용할 수 있는 경우도 가능하며, 이는 상기 정보를 평가함으로써 단계(S5)의 결정이 행해질 수 있음을 의미한다. 데이터베이스는, 예를 들어, 멀티빔 입자 빔 시스템의 외부에서, 멀티빔 입자 빔 시스템의 제어 수단에서, 또는 스티그메이터와 함께 멀티애퍼처 판에서나 멀티애퍼처 판 상에 배치된 메모리에 보유될 수 있다.

[0078] 단계(S7)에서는, 단계(S3)에서 결정된 전압을 단계(S5)에서 온전한 상태의 스티그메이터로서 식별된 스티그메이터에 인가한다.

[0079] 단계(S5)에서 결함이 있는 스티그메이터로서 식별된 스티그메이터에 대해, 단계(S9)에서 수정된 전압은 단계(S3)에서 결정된 전압에 보정 전압을 가산함으로써 결정된다.

[0080] 단계(S11)에서는, 단계(S9)에서 결정된 수정된 전압을 결함이 있는 스티그메이터에 인가한다.

[0081] 단계(S7 및 S11)가 실행된 후, 단계(S13)에서는, 스티그메이터를 통과하는 입자 빔에 적절하게 영향을 미치도록, 온전한 상태의 스티그메이터의 전극과 결함이 있는 스티그메이터의 전극 모두에 적절한 전압을 인가한다. 이어서, 멀티빔 입자 빔 시스템을 사용할 준비가 되어, 단계(S15)에서 작업을 수행할 수 있다.

[0082] 도 6 내지 도 9를 참조하여 설명한 실시예에서, 다극 요소들은 8개의 편향 요소를 가지며 스티그메이터로서 동작된다. 그러나, 결정된 여기를 수정하는 것에 대해 설명된 원리는, 일반적으로 중심 주위에 원주 방향으로 분산 배열된 적어도 2개의 편향 요소를 갖는 다극 요소에 적용될 수 있다.

[0083] 또한, 도 2 내지 도 9를 참조하여 설명한 실시예에서, 다극 요소의 편향 요소는 전극이며, 이 전극은 전압을 인가함으로써 여기되어 전기장을 생성하고, 이러한 전기장은 다극 요소를 통과하는 입자 빔의 입자를 편향한다. 그러나, 결정된 여기의 수정은 다극 요소에도 적용될 수 있으며, 다극 요소의 편향 요소는 코일이며, 이 코일은 전류 인가에 의해 여기되어 자기장을 생성하고, 이러한 자기장은 다극 요소를 통과하는 입자 빔의 입자를 편향한다.

[0084] 도 10은 91개의 벡터(361)의 필드를 도시한다. 각 벡터(361)는 멀티애퍼처 판(331)의 개구를 통과하는 입자 빔의 영향을 나타낸다. 그 영향은 비점수차 영향이고, 벡터(361)는 자신의 길이에 따른 비점수차 영향의 강도 및 자신의 방향에 따른 비점수차 영향의 배향을 나타낸다. 도 10의 예시에서, 벡터의 발(feet)은 멀티애퍼처 판의 각 개구의 중앙에 배치된다. 전술한 멀티애퍼처 판(331)의 개구들은 육각형 패턴으로 배열되어 있음이 분명하다.

[0085] 멀티애퍼처 판(331)의 각 개구는, 개구 주위에 원주 방향으로 분산 배열된 8개의 편향 요소를 포함한다. 강도 및 배향에 관하여 설정가능하며 개구를 통과하는 입자 빔에 대한 비점수차 영향이 발생할 수 있도록 강도 및 배향을 개구의 전기적 및/또는 자기적 사극장에 제공하기 위해, 편향 요소에 설정가능한 여기를 공급할 수 있다.

[0086] 도 10으로부터 벡터들(361)이 다수의 상이한 길이와 상이한 배향을 갖는다는 점은 명백하다. 그러나, 서로 인접한 벡터들이 서로 크게 다르지 않은 길이와 배향을 갖는다는 점도 명백하다. 이러한 이유로, 여기에 설명한 실시예에서, 동일한 여기 패턴은, 서로 인접한 개구들의 편향 요소들에 대하여 공통 공급 라인을 사용함으로써 상기 서로 인접한 개구들의 편향 요소들에 종종 공급된다.

[0087] 공통 공급 라인을 통해 서로 다른 개구들의 편향 요소들에 여기를 공급하기 위한 회로가 도 11에 개략적으로 도

시되어 있다. 도 11은 각각 8개의 편향 요소(343)를 갖는 2개의 스티그메이터(333)를 도시하며, 이들 편향 요소는 각각 멀티애퍼처 판(331)의 개구의 중심(371) 주위에 원주 방향으로 배열된다. 따라서, 2개의 스티그메이터(333)의 편향 요소(343)의 총 수는 16이다. 이들 16개의 편향 요소(343)에는, 단지 8개의 공급 라인(363)을 통해 전압 공급 시스템(351)으로부터 여기가 공급된다. 공급 라인(363)은 멀티애퍼처 판의 표면에 형성될 수 있다.

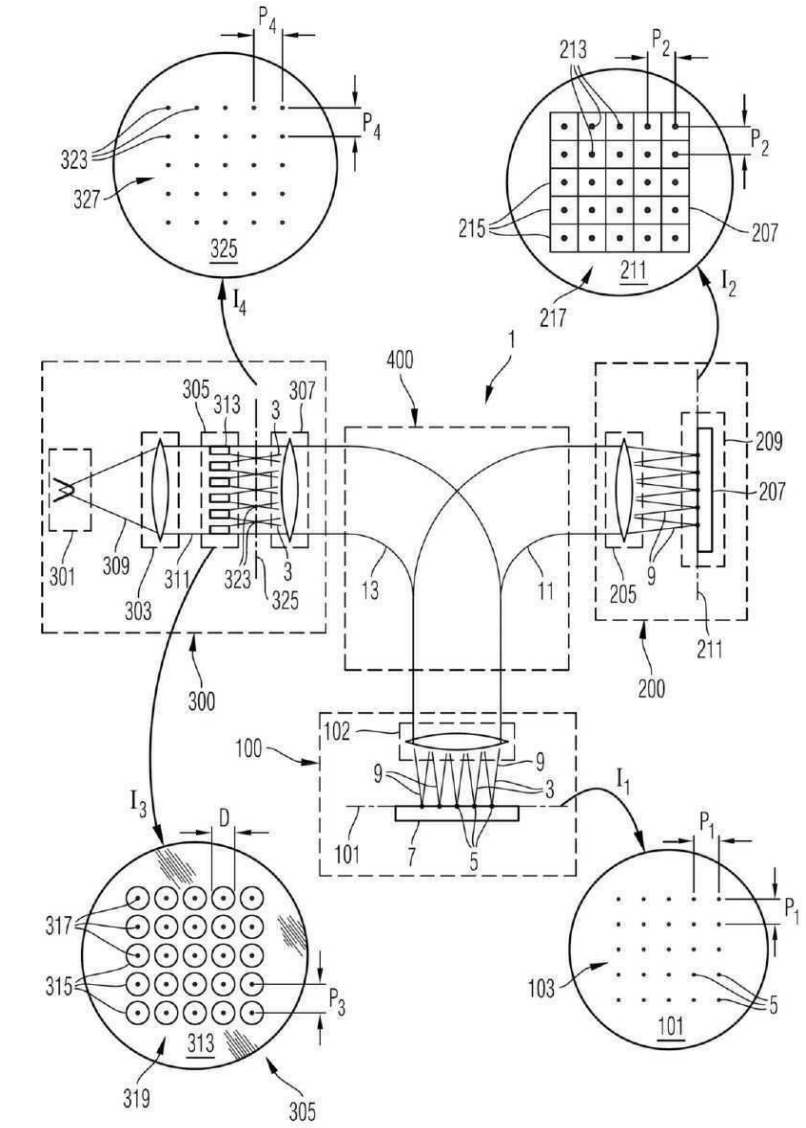
[0088] 여기가 공통 공급 라인(363)을 통해 공급될 때, 상이한 공급 라인들이 서로 교차하고 여전히 서로 절연되어야 하는 것은 불가피하다. 이는, 예를 들어, 멀티애퍼처 판의 기판 상의 2개의 도전성 층에 형성된 공급 라인에 의해 가능하며, 이들 도전성 층은 서로 절연되고, 2개의 층 사이에 도전성 연결이 이루어질 수 있다.

[0089] 도 12는, 도 10에 대응하는 벡터들(361)의 필드를 예시하며, 개구들의 그룹(365)에 대한 멀티애퍼처 판(331)의 개구들의 할당을 추가로 나타낸다. 어떠한 개구도 2개의 서로 다른 그룹(365)에 속하지는 않는다. 모든 개구가 그룹(365)에 속할 필요는 없다. 예를 들어, 멀티애퍼처 판(331)의 중심 근처에 배열된 7개의 개구는 그룹들(365) 중 어떠한 그룹에도 속하지 않는다. 개구들을 그룹들(365)으로 분할하는 것은, 동일한 그룹(365)에 있는 개구들의 벡터들(361)이 자신의 길이 및 배향에 대해 서로 크게 다르지 않도록 선택된다. 그룹(365)에는 각각 2개 내지 3개의 개구가 포함된다. 각 그룹(365)의 벡터들(361)은 자신들의 길이와 배향에 관하여 서로 크게 다르지 않으므로, 2개의 개구의 그룹의 편향 요소들(343)에 대하여 도 11에 도시된 바와 같이, 공통 공급 라인을 통해 각 그룹의 개구들의 편향 요소들에 여기를 공급하도록 준비된다. 이어서, 도 10에서 벡터들(361)의 필드에 의해 표현되며 이상적으로 원하는 바와 정확하지는 않지만 거의 동일한 방식으로, 주어진 그룹(365)의 각 개구에서 개구를 통과하는 입자 빔에 영향을 미칠 수 있다.

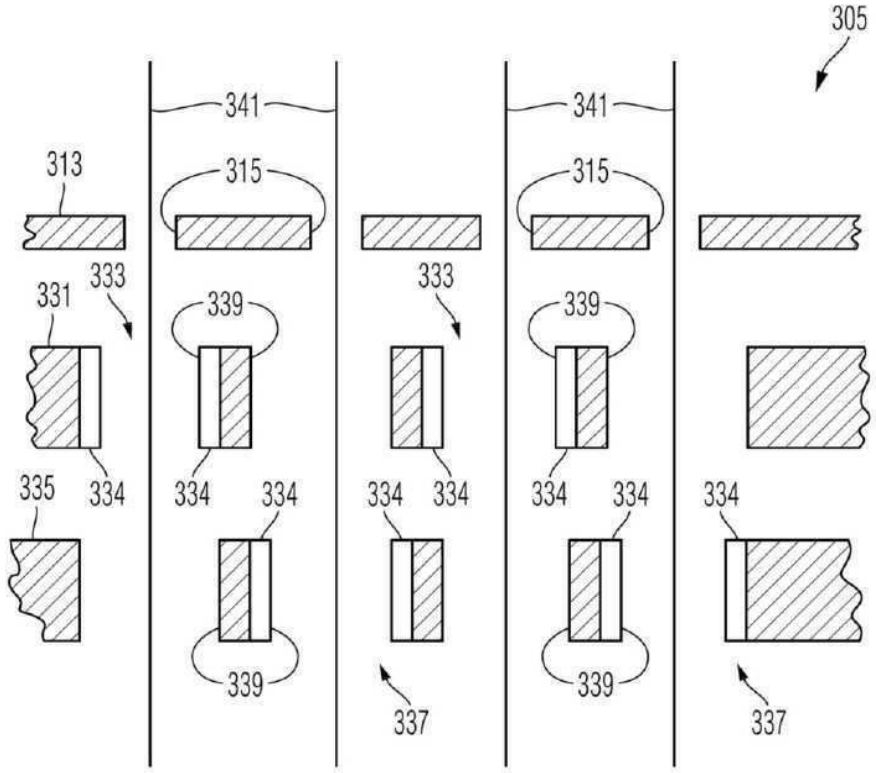
[0090] 멀티빔 입자 빔 시스템이 사용되는 많은 상황에서, 멀티애퍼처 판의 개구들을 그룹들로 분할하는 것은 도 12의 예에서 도시된 바와 같이 유지될 수 있음이 밝혀졌다. 멀티빔 입자 빔 시스템이 사용되는 상황은, 예를 들어, 멀티애퍼처 판의 하류측에 있는 빔 경로에 배치된 광학 유닛에 의해 대상으로 지향된 입자 빔 또는 멀티애퍼처 판의 개구를 통과하는 입자 빔의 운동 에너지와 관련하여 상이할 수 있다. 복수의 상이한 운동 에너지에 대하여, 도 12의 예에 도시된 바와 같이 멀티애퍼처 판의 개구들을 그룹들로 동일하게 분할하면, 입자 빔에 영향을 미치는 능력 면에서 양호한 결과를 얻을 수 있다. 이는, 멀티애퍼처 판을 멀티빔 입자 빔 시스템에 통합한 후 다양한 사용 상황에서 멀티빔 입자 빔 시스템을 사용하도록 멀티애퍼처 판의 생산 동안 공통 공급 라인을 통해 멀티애퍼처 판의 편향 요소로의 여기 공급을 특정하는 것이 합리적일 수 있음을 의미한다.

도면

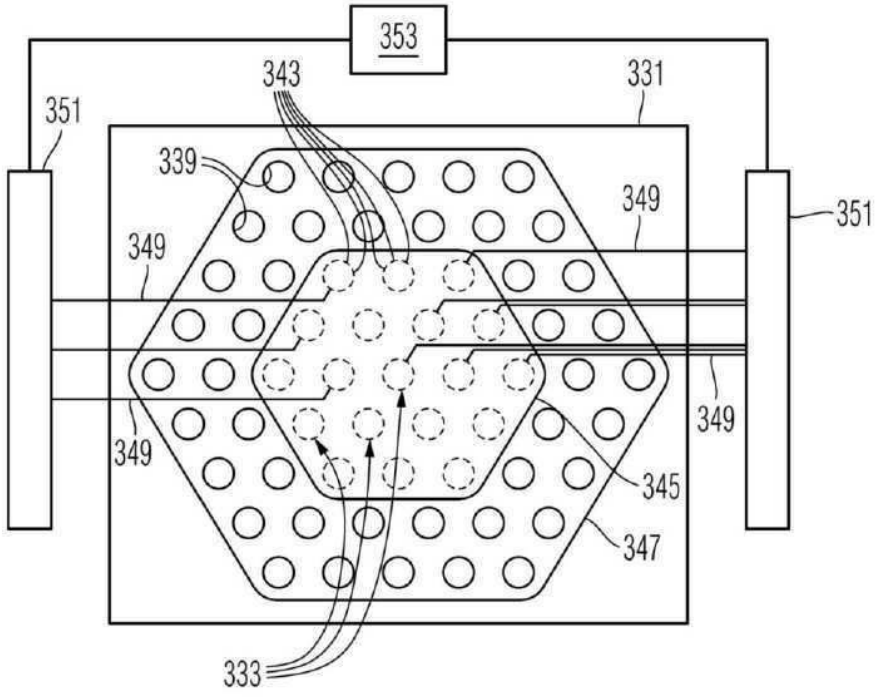
도면1


P4
P4
323
327
325
I4
213
P2
P2
215
207
211
217
I2
1
400
305
313
3
307
209
207
301
309
311
323
3
325
303
13
11
205
9
211
300
200
100
102
9
9
3
I1
101
7
5
I3
D
P1
P1
317
315
P3
313
319
305
103
5
101

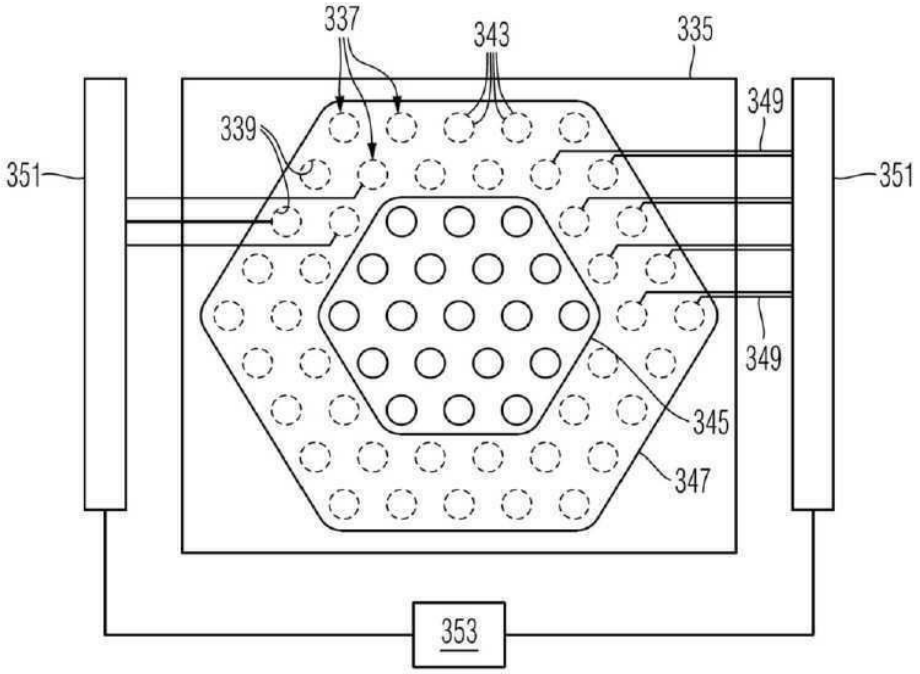
도면2


305
341
341
313
315
315
333
333
331
339
339
335
334
334
334
334
334
334
334
334
339
339
337
337

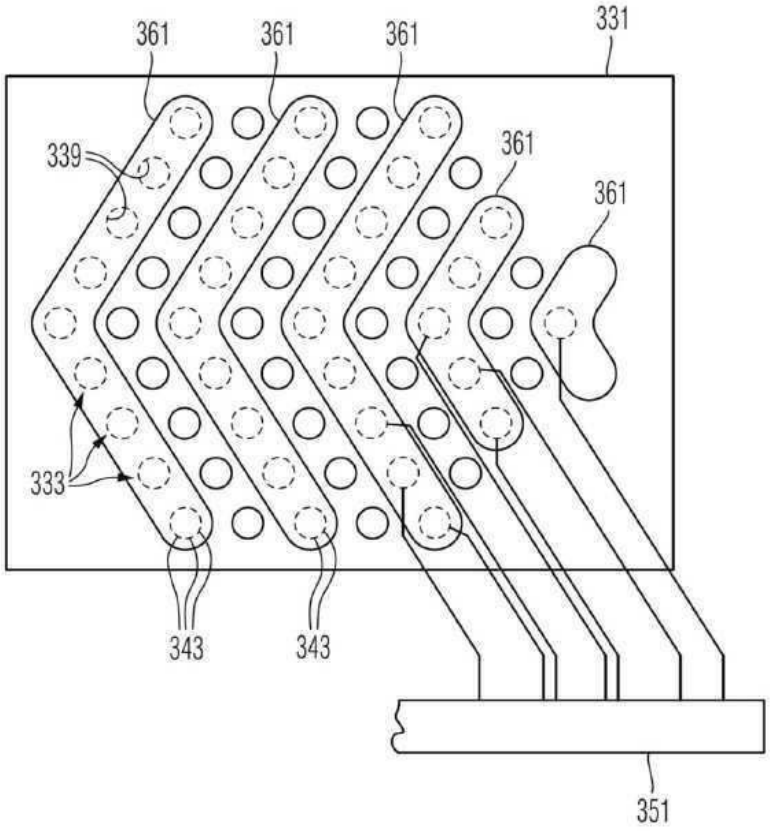
도면3


353
343
331
351
339
349
351
349
349
349
345
347
333

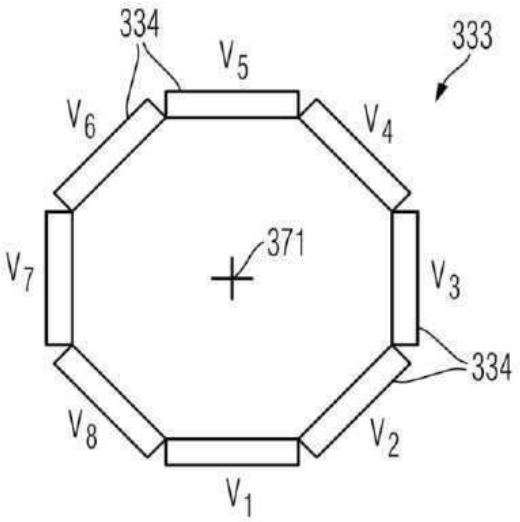
도면4


337
343
335
339
349
351
351
349
345
347
353

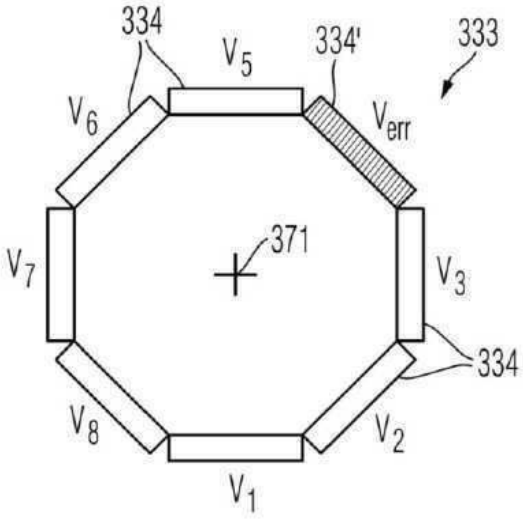
도면5


361
361
361
331
339
361
361
333
343
343
351

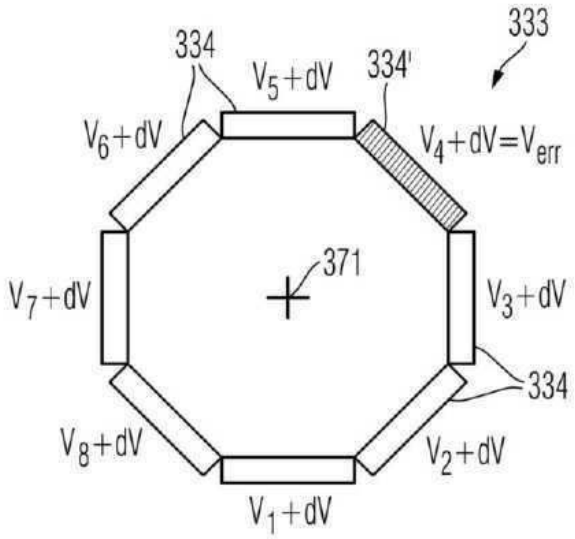
도면6


334
333
V5
V6
V4
371
V7
V3
334
V8
V2
V1

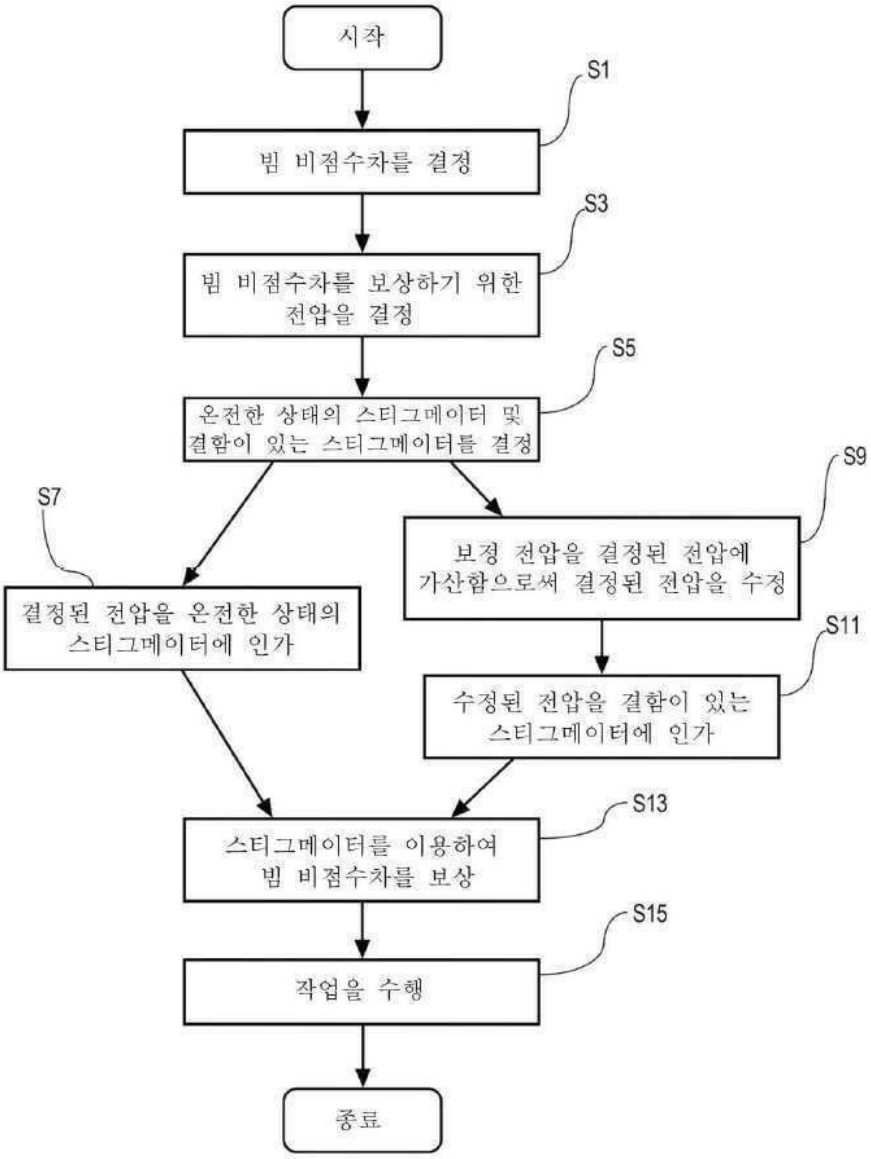
도면7


334
V5
334'
333
V6
Verr
371
V7
V3
334
V8
V2
V1

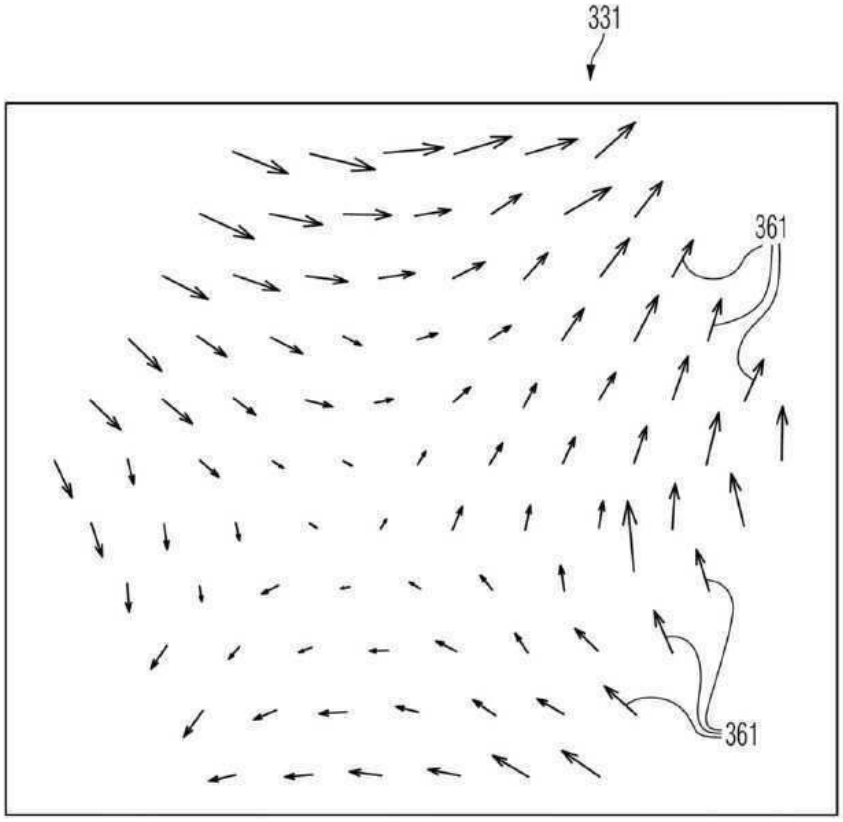
도면8


333
334
V5+dV
334'
V6+dV
V4+dV=Verr
371
V7+dV
V3+dV
334
V8+dV
V2+dV
V1+dV

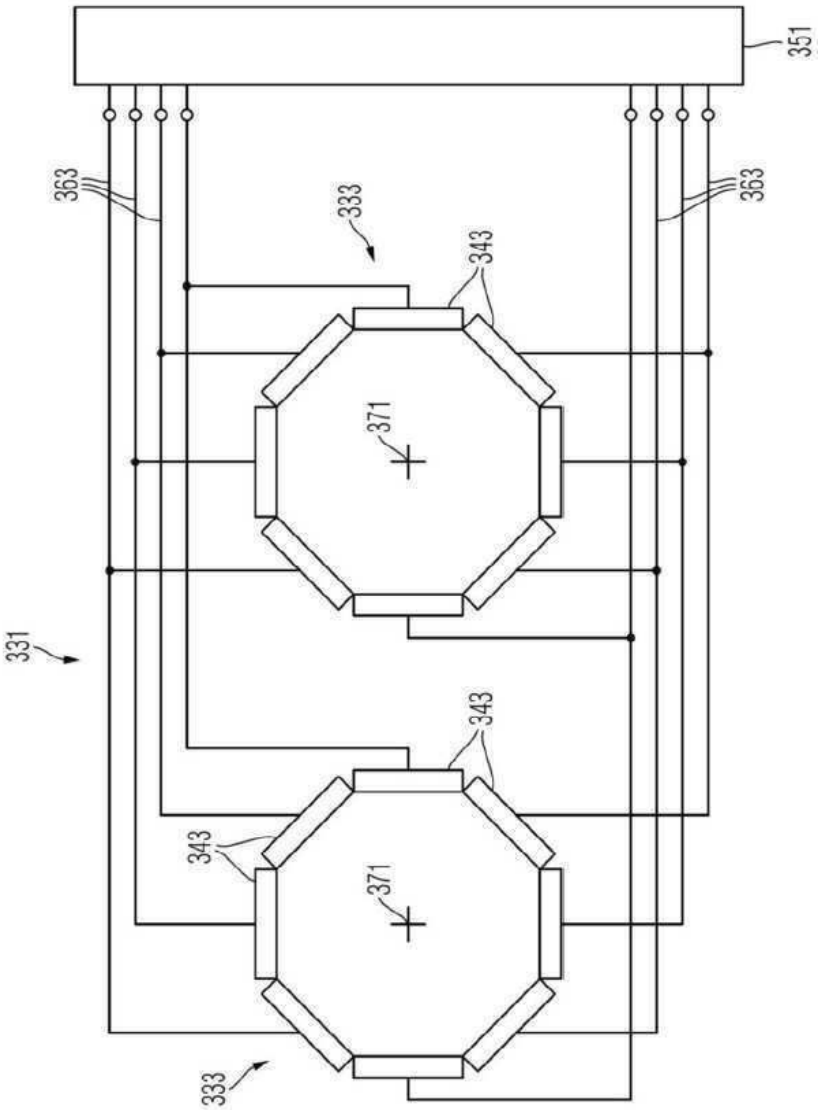
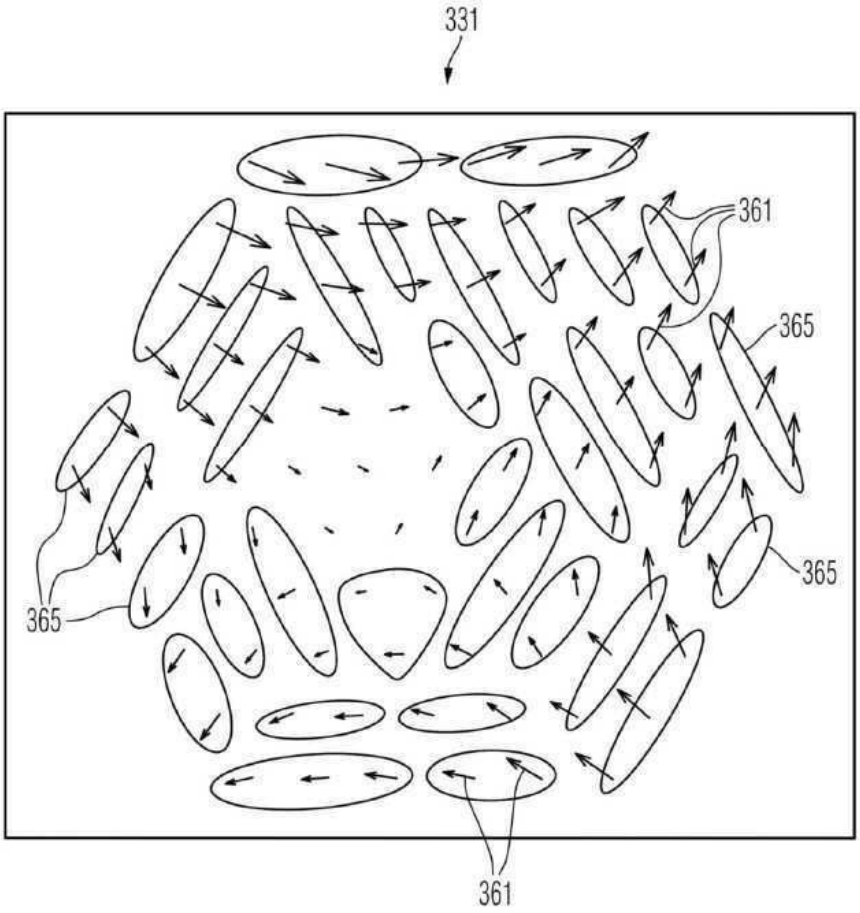
도면9


시작
S1
빔 비점수차를 결정
S3
빔 비점수차를 보상하기 위한 전압을 결정
S5
온전한 상태의 스티그메이터 및 결함이 있는 스티그메이터를 결정
S7
결정된 전압을 온전한 상태의 스티그메이터에 인가
S9
보정 전압을 결정된 전압에 가산함으로써 결정된 전압을 수정
S11
수정된 전압을 결함이 있는 스티그메이터에 인가
S13
스티그메이터를 이용하여 빔 비점수차를 보상
S15
작업을 수행
종료

도면10



도면11



도면12